

Jonne Tiilikainen

Tienrakenussuunnittelun modernisointi

Kolmiulotteinen ja ajantasainen suunnittelu osaksi
nykyaikaista rakentamista

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Maanmittaustekniikan koulutusohjelma
Insinöörityö
19.2.2012

Tekijä Otsikko	Jonne Tiilikainen Tienrakennussuunnittelun modernisointi. Kolmiulotteinen ja ajantasainen suunnittelu osaksi nykyaikaista rakentamista.
Sivumäärä Aika	34 sivua 19.2.2012
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	maanmittaustekniikka
Ohjaaja Ohjaava opettaja	palvelupäällikkö Matti Laitinen yliopettaja Vesa Rope
<p>Insinööriyössä selvitettiin nykyisen tienrakennussuunnittelun ongelmakohtia. Työn tavoitteena oli selvittää, miten nämä ongelmat voitaisiin ratkaista. Tutkielma tehtiin tutustumalla aiheesta tehtyihin tutkimuksiin ja selvityksiin. Osallistuminen marraskuussa 2010 järjestetyille koneohjauspäiville oli suureksi hyödyksi. Tämän lisäksi aineistoa ja huomioita kertyi työkokemuksesta tienrakennustyömailta.</p> <p>Ongelmallisimmiksi asioiksi nykyisessä tienrakennussuunnittelussa havaittiin suunnitelma-aineiston kolmiulotteisuuden ja ajantasaisuuden puute sekä suunnitelmakäytäntöjen vanhanaikaisuus. Nämä puutteet aiheuttavat mittaushenkilöstölle ja urakoitsijalle lisätyötä, ja virheellisen mittausaineiston luomisen ja virheellisesti rakentamisen riski kasvaa.</p> <p>Insinööriyössä selvisi, että nämä ongelmat olisivat ratkaistavissa nykytekniikalla. Selkeimmäksi tavaksi osoittautui suunnitelma-aineiston standardointi siten, että suunnittelija suunnittelisi rakennussuunnitelmat sähköisesti kolmiulotteiseen muotoon. Suunnitelma toimitettaisiin palvelimelle, josta se olisi kaikkien rakennushankkeen osapuolten käytettävissä. Jotta suunnitelmakäytäntöjä saadaan muutettua, on hankkeen tilaajalla oltava siinä keskeinen rooli.</p> <p>Kolmiulotteiseen suunnitelmakäytäntöön siirtyminen helpottaisi työkoneautomaatioon eli koneohjaukseen siirtymistä. Automatisoidut työkoneet tarvitsevat kolmiulotteista suunnitelma-aineistoa toimiakseen.</p>	
Avainsanat	tienrakennus, kolmiulotteinen suunnittelu, koneohjaus, tuotemalli

Author Title	Jonne Tiilikainen The modernization of road planning. Three dimensional and up-to-date planning as part of modern construction.
Number of Pages Date	34 pages 19 February 2012
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Land Surveying
Instructor(s)	Matti Laitinen, Service Manager Vesa Rope, Principal Lecturer
<p>The purpose of this final year project was to find out the problems in modern road planning. The aim of the project was to study how to improve road planning with modern technology. The research was done by studying literature concerning the topic and participating in Koneohjauspäivät, held in November 2010. Work experience on road construction sites was also helpful.</p> <p>The results of the study showed, that the greatest problems in modern road planning were the lack of three-dimensional information and updating, as well as the old-fashioned way of planning. These deficiencies cost surplus work for the surveyor and constructor on site. The worst problems are increasing possibility to make errors when creating surveying data and misconstruction.</p> <p>The results of the project show that these problems could be solved with modern technology. The best way is for the road construction planner to plan digitally in three dimensions. The plan would then be delivered to server where every participant of the construction project could access it. The customer plays a significant role in order to change road planning policy.</p> <p>Three dimensional plans would make the transition to automated construction site easier. Automated work machines at a road construction site need three dimensional planning materials.</p>	
Keywords	road construction, three-dimensional planning, automated construction site, building information model (BIM)

Sisällys

1 Johdanto	1
2 Työn tavoitteet	2
3 Menetelmät	2
4 Tiensuunnittelun kulku	3
4.1 Esisuunnittelu	3
4.2 Yleissuunnittelu	4
4.3 Tiesuunnittelu	4
4.4 Rakennussuunnittelu	4
5 Tien rakentamisen urakkamuodot	5
5.1 Suunnittele ja toteuta -urakka	5
5.2 Kokonaisurakka	5
5.2.1 Kokonaishintaurakka	6
5.2.2 Yksikköhintaurakka	6
6 Nykysuunnittelusta moderniin suunnitteluun	7
6.1 Suunnittelu kolmiulotteiseksi	8
6.2 Suunnittelukäytännöt uusiksi	12
6.3 Kolmiulotteisiin suunnitelmiin siirtymisen haasteet	14
6.4 Suunnitelmat ajantasaisiksi	15
6.5 Tavoitteena digitaalinen tuotemalli työmaasta	16
7 Automaatio tienrakennuksessa	18
7.1 Automaatio lähtötietojen hankinnassa	19
7.2 Koneohjaus	20
7.2.1 Laser	20
7.2.2 Robottitakymetripaikannus	21
7.2.3 Satelliittipaikannus	22
7.2.4 Syvyysmittaus	24
7.3 Automaatio rakentamisen eri vaiheissa	25
7.3.1 Massanvaihto	25
7.3.2 Louhinta	26
7.3.3 Kantava kerros	26
7.3.4 Kulutuserros	27
7.3.5 Muut rakenteet	28

7.4 Automaation hyödyt	28
7.5 Haasteet koneohjaukseen siirtymisessä	29
8 Yhteenveto	31
Lähteet	33

1 Johdanto

Tien uudis- ja korjausrakentaminen perustuu aina ennen rakentamista laadittuihin tie- ja rakennussuunnitelmiin. Vaikka suunnitelmat ovat ajan saatossa kehittyneet ja parantuneet, eivät ne vielä ole niin laadukkaita kuin rakentamisessa useasti tarvittaisi. Ongelmaksi ovat koituneet suunnitelmien sisällön vajavaisuus ja ajantasaisuus. Tietotekniikan kehityksen myötä on siirrytty enemmän sähköisiin suunnitelmiin, mutta paperisista suunnitelmista ei ole vielä täysin päästy eroon.

Nykyään tienrakennussuunnitelmat laaditaan digitaalisesti tietokoneella, mutta usein valmiit suunnitelmat toimitetaan paperille tulostettuina. Paperisista suunnitelmista ei välttämättä saada tarkkaa tietoa tierakennustyömaan kaikista kohdista. Digitaalisesti suunnitteleamalla olisi mahdollista luoda työmaasta kolmiulotteinen malli, jolloin suunnitelmasta olisi poimittavissa paikka- ja ominaisuustieto työmaan jokaisesta kohdasta. Tällainen suunnitelma on verrattavissa teollisuudesta tuttuun tuotemalliin.

Toinen ongelma nykyisessä käytännössä ilmenee, jos suunnitelmiin tulee muutoksia kesken rakentamisvaiheen. Varsinkin nykyään rakentamisen ollessa enemmän korjaus- ja parantamISRakentamista kuin uudisrakentamista rakentamisvaiheessa tulee esiin yllättäviä ongelmia, jotka vaativat suunnitelman muutosta (1). Nykymenetelmällä, kun rakennussuunnitelmiin tulee muutos, pahimmassa tapauksessa suunnittelija suunnittelee uudet ajantasaiset suunnitelmat, jotka tulostetaan paperille ja paperit toimitetaan työmaalle, josta suunnitelmat toimitetaan aliurakoitsijoille ja mittaushenkilöstölle. Tämä käytäntö on usein liian hidas.

Suurissa *suunnittele ja toteuta* -urakoissa ei edellä mainittua ongelmaa esiinny, mutta tässä insinöörityössä keskitytään pieniin projekteihin, joissa suunnittelija- ja urakointiosapuoli eivät kuulu samaan organisaatioon (2).

Nykytekniikka on mahdollistanut paikkatiedon omaavien digitaalisten suunnitteluaineistojen siirron myös työkoneisiin, joihin on asennettu kuljettajaa ohjaava mittausjärjestelmä, jolloin koneen kuljettajat näkevät reaaliajassa, miten työn jälki vastaa suunnitelmia. Tällöin puhutaan työmaa-automaatiosta eli koneohjauksesta. Automatisoidun työkoneen hallinta on helpompaa ja tarkempaa, ja tarve merkitä suunnitelmat maas-

toon jää pois. Inhimilliset satunnaiset virheet kasaantuvat vanhanaikaisessa systeemisä, jossa mittaaaja tulkitsee suunnittelijan piirustukset ja merkitsee nämä maastoon. Tämän jälkeen työkonculjettaja tulkitsee mittaaajan merkintöjä, ja suorittaa rakentamisenvaiheen näiden mukaan.

Insinööri työ tehtiin Destia Oy:lle. Destia Oy on suomalainen infra- ja rakennusalan yritys, joka suunnittelee, rakentaa ja ylläpitää liikenneväyliä sekä teollisuus-, liikenne- ja elinympäristöjä. Asiakkaina Destialla on teollisuus- ja liikeyrityksiä, kuntia ja kaupunkia sekä valtionhallinnon organisaatioita. Vuonna 2010 Destia-konsernilla liikevaihto oli 540 miljoonaa euroa. Destialla on noin 2000 työntekijää. (3)

Destian mittauspalvelu on alansa johtavia yrityksiä infra-alan maastotiedon tuottajana ja jalostajana. Mittauspalveluihin kuuluvat yhdyskunta- ja ympäristösuunnittelun mittaukset, rakentamista palvelevat mittaukset sekä kolmiulotteisten maastotietojen hankinta, jalostus ja ylläpito. (4)

Insinööri työn tilaajalle selvitys tarjoaa tietoa siitä, mitkä asiat nykyisessä tienrakennussuunnittelussa ovat osoittautuneet ongelmallisiksi ja miten näitä ongelmia voitaisiin ratkoa. Suunnitelmakäytäntöjen on muututtava, jotta siirtyminen koneohjaukseen sujuu kitkattomammin.

2 Työn tavoitteet

Työn tavoitteena on selvittää nykyisten suunnittelumenetelmien heikkouksia ja ehdottaa, kuinka suunnitelmakäytäntöjä tulisi parantaa, jotta mittaus- ja urakointiosapuolten työ tehostuisi jatkossa. Suunnitelmamenetelmien modernisointi helpottaa myös siirtymistä koneohjaukseen. Työssä tutustutaan koneohjauksen tarjoamiin mahdollisuuksiin ja haasteisiin. Tavoitteena on osoittaa, miksi koneohjaukseen siirtyminen on järkevää.

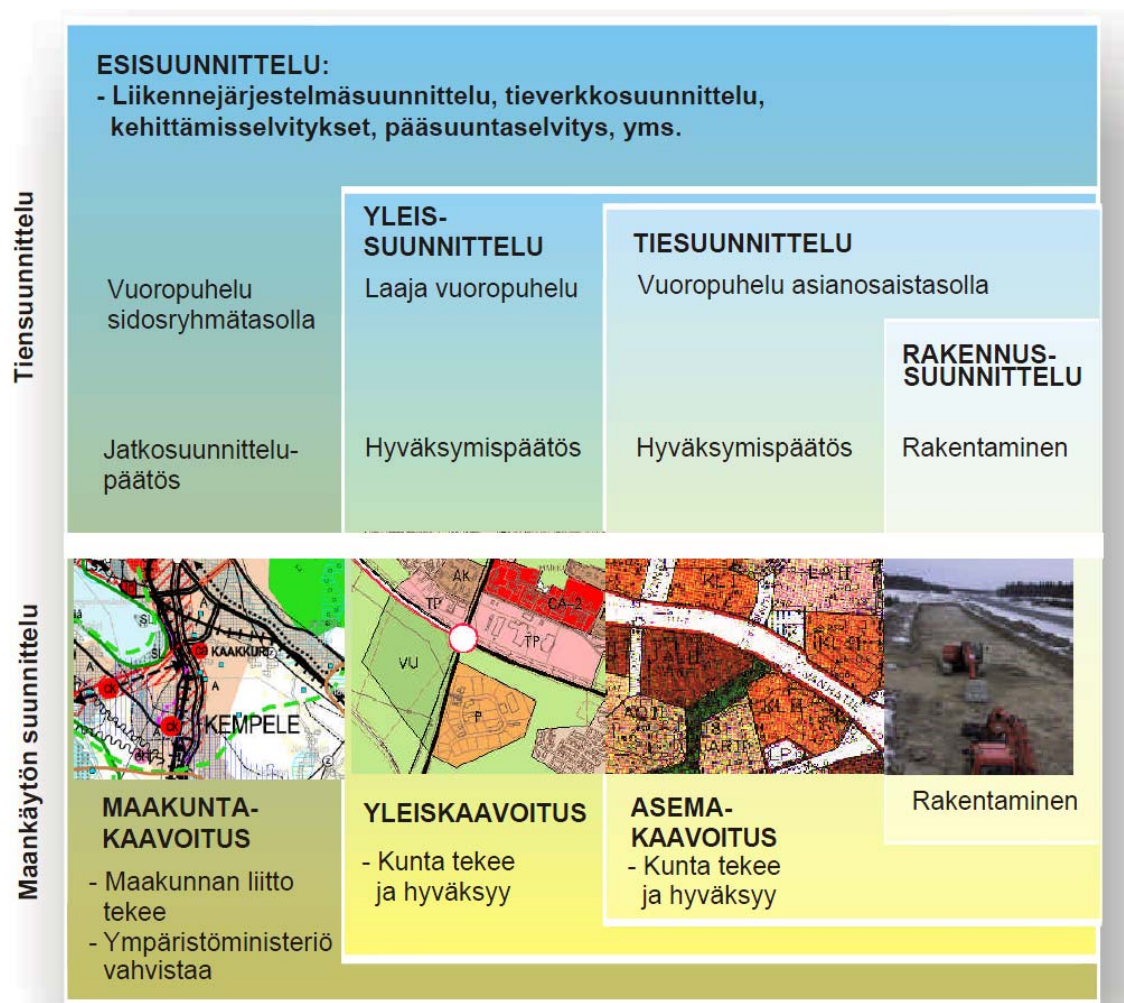
3 Menetelmät

Työn tietolähteinä on käytetty aiheesta julkaistuja tutkielmia ja artikkeleita. Tämän lisäksi työssä esitetään kirjoittajan henkilökohtaisiin työkokemuksiin perustuvia havain-

toja. Ajatuksia, tietoa ja aineistoa on saatu myös marraskuussa 2010 Novatron Oy:n, Scanlaser Oy:n ja Vianova Systems Finland Oy:n järjestämiltä Koneohjauspäiviltä.

4 Tiensuunnittelun kulku

Tiensuunnitteluprosessissa on neljä vaihetta: esi-, yleis-, tie- ja rakennussuunnittelu. Tiehankkeen suunnittelu tarkentuu vaiheittain. Jokaisen vaiheen suunnittelutarkkuus ja päätöksenteko sovitetaan yhteen maankäytönsuunnittelun kanssa. Kuvassa 1 on esitetty, miten tiensuunnittelun vaiheet ja maankäytön suunnittelu etenevät yhdessä.



Kuva 1. Tiensuunnittelun kulku maankäytön mukana (5)

4.1 Esisuunnittelu

Yhteiskunnan kehittyessä liikkumistarve ja liikenneolot muuttuvat. Tien esisuunnittelu-vaiheessa nämä muutokset selvitetään ja suunnitellaan toimenpiteet, joilla niihin voi-

daan vastata. Tuloksena syntyy yksi tai useampi hanke, joille selvitetään vaihtoehtoisia toimenpiteitä rahoituksineen ja vaikutuksineen. Esisuunnittelun perusteella Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus (ELY-keskus) tekee päätökset hankkeiden jatkosuunnittelusta. Teiden esisuunnittelu vastaa tarkkuudeltaan maakuntakaavaa. (5)

4.2 Yleissuunnittelu

Yleissuunnitteluun kuuluu tien likimääräisen sijainnin määrittäminen, tien kytkennät nykyiseen ja tulevaan tieverkkoon, liikenteelliset ja tekniset ratkaisut perustasolla sekä ympäristöhaittojen torjumisen periaatteet. Suunnittelu on tässä vaiheessa niin tarkkaa, että hankkeen tekninen, taloudellinen ja ympäristöllinen toteuttamiskelpoisuus tulee varmistetuksi. Yleissuunnitteluvaiheessa tehdään hyväksymispäätös, jonka jälkeen hanke voidaan sisällyttää ELY-keskuksen lähivuosien toteuttamishjelmiin. Ympäristövaikutusten arviointi (YVA) sisältyy yleensä tähän vaiheeseen. Yleissuunnittelu vastaa tarkkuudeltaan yleiskaavaa. (5)

4.3 Tiesuunnittelu

Tiesuunnittelussa määritetään tien tarkka sijainti, tien vaatimat alueet, teiden ja tonttien liittymät, kevyen ja joukkoliikenteen järjestelyt sekä liikenteen haittojen torjumiseksi tarvittavat toimenpiteet. Kun tiesuunnitelmasta on tehty hyväksymispäätös, on tienpitäjällä oikeus ottaa haltuun tietä varten tarvittava alue. Rahoitus hankkeeseen varmistuu tiepäätöksellä, jonka jälkeen tietä voidaan alkaa rakentaa. (5)

4.4 Rakennussuunnittelu

Rakennussuunnittelu kattaa rakentamisessa tarvittavat asiakirjat. Pienehköissä hankkeissa tie- ja rakennussuunnitelma voidaan yhdistää. Tämä insinööritoimisto paneutuu nimenomaan rakennussuunnitelmien ongelmiin, puutteisiin ja parantamishdotuksiin.

5 Tien rakentamisen urakkamuodot

Tien rakentamisessa käytetyimmät urakkamuodot ovat *suunnittele ja toteuta* -urakka (ST) sekä kokonaisurakka (KU). Mittaajan rooli ja rakennussuunnitelmien laatu eroavat eri urakkamuodoissa.

5.1 Suunnittele ja toteuta -urakka

Suunnittele ja toteuta -urakkamuotoa käytetään yleensä suurissa rakennushankkeissa. ST-urakka sisältää rakennussuunnittelun ja toteutuksen, eli sama organisaatio suunnittelee kohteen rakennussuunnitelmat sekä rakentaa kohteen. ST-urakan etu rakentajan ja mittaajan näkökulmasta on se, että yhteydenpito suunnittelijaan on helppoa. Suunnitelmissa esiintyvät virheet ja ristiriitaisuudet saadaan selvitettyä saman tien. Usein suunnitelmat eivät ole täysin valmiit hankkeen alkaessa. Tämä mahdollistaa sen, että mittaaja voi esittää suunnittelijalle tarpeensa suunnittelutavasta, formaatista ja aineiston määrästä ja muodosta. Suunnitelma on tällöin mittausvalmis pienemmällä vaivannäöllä ja turha työ jää pois. Tällöin myös kanssakäyminen suunnittelijoiden, mittaajien ja työmaa-automaation välillä on mahdollista. Ongelmaksi ST-urakoissa on koitunut suunnittelun ja toteutuksen aikataulujen yhteensovittaminen. Monesti työmaalla joudutaan odottamaan suunnitelman valmistumista, jolloin vasta päästään rakentamaan.

Tilaajan tehtävänä ST-urakassa on määritellä projektin tavoitteet ja kohteelle asetettavat toiminnalliset vaatimukset sekä laatia materiaali, jonka perusteella annetaan tarjoukset hankkeesta. (6)

5.2 Kokonaisurakka

Kokonaisurakassa tilaaja on sopimuksessa yhden pääurakoitsijan kanssa. Suunnitelmien teettäminen on tilaajan vastuulla. Tilaaja myös vastaa niiden sisällöstä ja toimittamisesta työmaalle. Aliurakoitsijat ovat sopimussuhteessa pääurakoitsijaan. Pääurakoitsija vastaa oman työn lisäksi kaikkien töiden yhteensovittamisesta. (6)

Kokonaisurakoissa suunnitelmien laatu riippuu maksutapaperusteesta. Yleisimmät kokonaisurakkamuodot maksutavan mukaan ovat yksikköhintaurakka ja kokonaishintaurakka.

5.2.1 Kokonaishintaurakka

Kokonaishintaurakassa urakoitsija tarjoaa projektille kiinteän hinnan, jonka puitteissa urakoitsija lupaa toteuttaa koko hankkeen. Jotta urakoitsija pystyy tarjoamaan kokonaishintaa urakasta, on suunnitelmien oltava tarkkoja jo tarjouspyyntövaiheessa. Jos urakkaan tulee urakoinnin aikana lisäyksiä tai muutoksia, ne korvataan erikseen sopia-

Kokonaishintaurakassa yhteydenpito suunnittelijaan edellyttäisi työaikaista suunnittelusopimusta, ja yhteydenpito on yleensä vähäisempää kuin yksikköhintaurakassa tai ST-urakassa. Valmiit suunnitelmat toimitetaan työmaalle ennen rakentamisvaihetta. Yleensä suunnitelmien virheet ja ristiriitaisuudet huomataan vasta rakentamisvaiheessa eikä uusia suunnitelmia usein malteta odottaa. On tavallista, että ristiriitaisesti suunniteltu kohde rakennetaan urakoitsijan oman näkemyksen mukaan ja kohteesta voidaan tehdä varmuuden vuoksi poikkeamaraportti. Suurempia muutoksia varten kysytään useimmiten lupa valvojalta. Suunnitelmasta poikkeaminen vaatii yleensä mittaaajan apua, koska muutostyö on saatava sopimaan alkuperäiseen suunnitelmaan ja tähän tarvitaan rakenteiden paikkatietoa. Rakentamisvaiheessa mittaaajan tehtävä ei useinkaan jää suunnitelman maastoon merkitsemiseen, vaan hän joutuu ottamaan vastuuta muutostöistä työmaajohdon kanssa, jotta työ etenisi työmaalla aikataulussa.

5.2.2 Yksikköhintaurakka

Yksikköhintaurakassa rakennuttaja ja urakoitsija rajaavat eri työsuoritukset ja rakenneosat erillisiksi osiksi. Urakoitsija tarjoaa eri osille kiinteät yksikköhinnat. Urakan tarjouspyyntövaiheessa suunnitelmat voivat olla vielä hyvin alkuvaiheessa. Suunnitelmista täytyy käydä ilmi vain urakan päälinjat ja keskeiset yksikköhintoihin vaikuttavat tekijät. Urakan lopullinen hinta määräytyy suoritettujen yksikköjen määrän ja yksikköhintojen perusteella. Tarkka summa urakalle selviää vasta urakan valmistuttua. Yksikköhintaurakka vaatii selvää nimikkeistöä. Lähtötilannekartoitus on oltava tehtynä ennen kuin

tilaaja luovuttaa työmaa-alueen urakoitsijalle. Laskutettavat yksiköt määräytyvät lähtötilanteen ja suunnitelmien teoreettisten tilavuuksien erotuksena. Urakoitsijalle ei makseta suunnitelman teoreettisen tason ylittävistä töistä. (6)

Yksikköhintaurakassa mittaukset on jaoteltu yleensä tilaajan ja urakoitsijan välillä. Tilaajan vastuulla on tehdä tai teettää lähtötilannekartoitus. Tämän lisäksi tilaaja osoittaa urakoitsijalle lähtöpisteet, joiden perusteella urakoitsija pystyy hoitamaan tarvittavat mittaukset. On toivottavaa, että lähtötilannekartoitus on tehty samoja kiintopisteitä hyödyntämällä, jotta kiintopisteverkon heterogeenisyydestä johtuvat virheet eivät aiheuta eri organisaation mittaustuloksiin eroavaisuuksia. Tämän lisäksi tilaajan mittauspalvelun on hyvä tehdä työmaalla pistokokeita, joissa verrataan tilaajan mittauspalvelun ja urakoitsijan mittauspalvelun mittaustuloksia.

Urakoitsija vastaa yleensä kaikista työnaikaisista mittauksista. Työnaikaisiin mittauksiin kuuluvat suunnitelmien maastonmerkinnät, välimittaukset ja tarkemittaukset. Välimittauksilla tarkoitetaan mittauksia, jotka eivät käy ilmi lähtötilannekartoituksesta, mutta vaikuttavat suoriteyksiköiden määriin. Tavallisin tapaus on kaivamisen yhteydessä paljastuneen kallionpinnan kartoitus. Maankaivamiselle ja kallion louhinnalle on eri hinnat. Louhinta on huomattavasti kalliimpaa kuin kaivaminen.

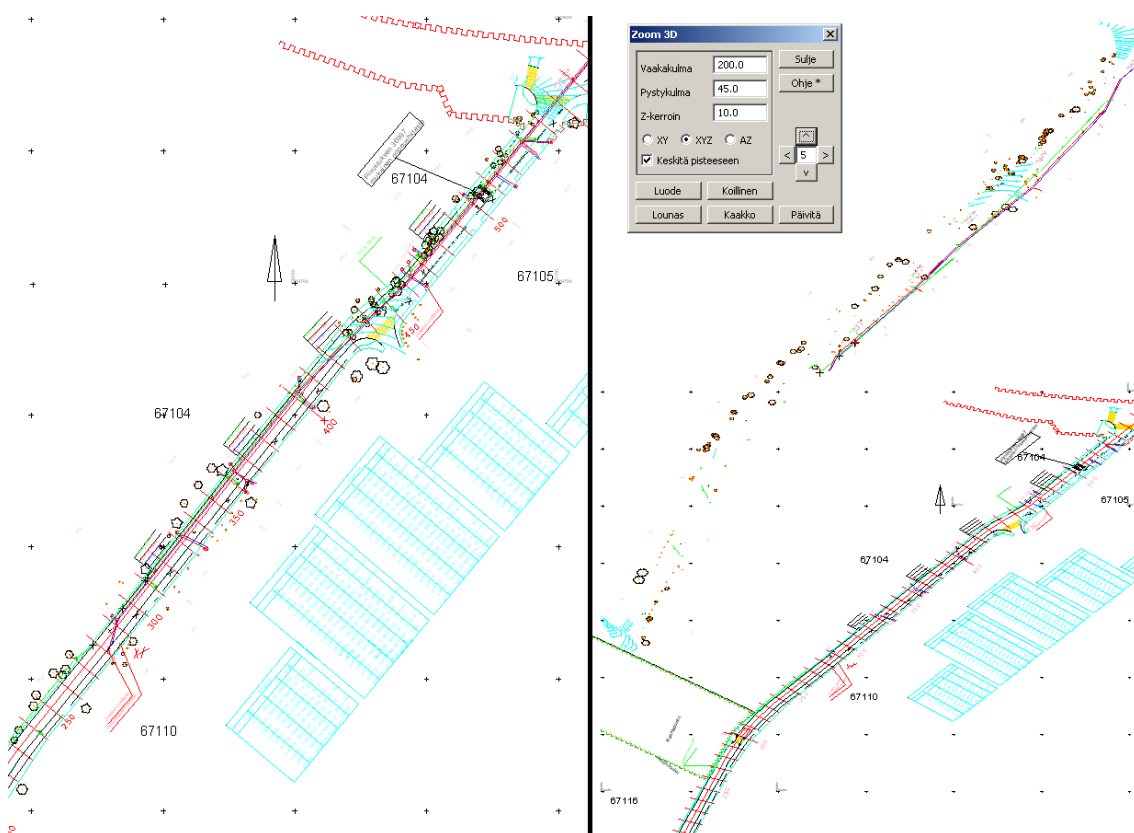
Tarkemittausten tarkoituksena on varmistaa, etteivät suunnitelman asettamat toleranssit ylity. Rakenteesta ja sopimuksista riippuen toleranssin ylitykset täytyy korjata, tai ne vähennetään yksiköiden kokonaismääristä.

6 Nykysuunnittelusta moderniin suunnitteluun

Rakennussuunnitelmissa ei täysin hyödynnetä nykytekniikkaa. Tämän lisäksi suunnitelmissa esiintyy usein inhimillisiä virheitä, puutteita ja ristiriitoja. Rakennussuunnitelmien yksityiskohtia voi olla vaikea tulkita, tai niistä ei ole poimittavissa tarpeellista tietoa.

6.1 Suunnittelu kolmiulotteiseksi

Nykyään lähes poikkeuksetta tienrakennussuunnitelmat ovat kaksiulotteisia tai vain osittain kolmiulotteisia. Tavallisesti suunnittelija toimittaa kaksiulotteiset pituus- ja poikkileikkaukset sekä asemapiirustuksen. Jos asemapiirustus toimitetaan CAD-kuvana, osa elementeistä voi olla piirretty kolmiulotteisina. Suurin osa asemapiirustuksesta on kuitenkin vain kaksiulotteisena, jolloin suunnitelman hyödyntäminen on hankalaa. Kuvassa 2 näkyy, kuinka osittain kolmiulotteisesti piirretyn asemapiirustuksen kolmiulotteiset elementit leijuvat ilmassa, kun kuvaa katsotaan viistosti.



Kuva 2. Vasemmalla CAD-kuva ylhäältä katsottuna. Oikealla sama kuva viistosti katsottuna.

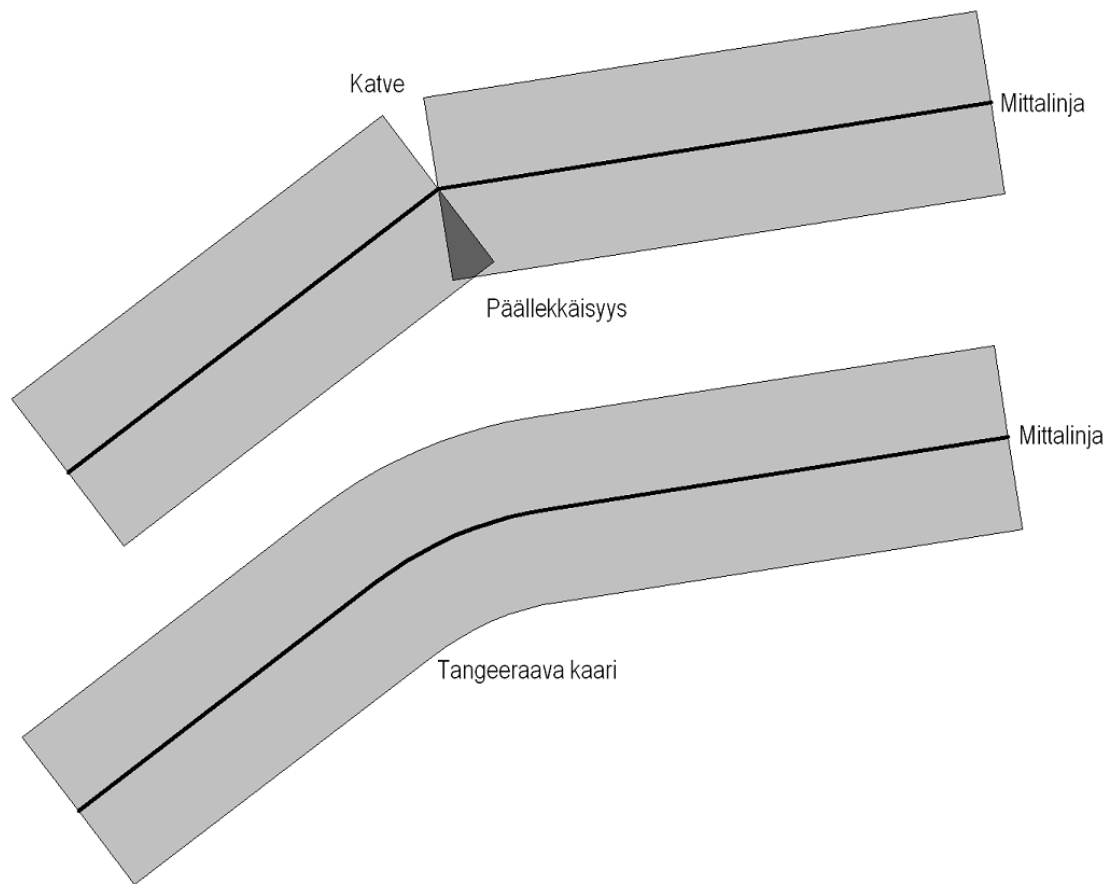
Mikäli suunnitelmat toimitetaan ainoastaan paperiversioina, ne sisältävät tiestä kaksiulotteisia asemapiirustuksia sekä pituus- ja poikkileikkauksia. Poikkileikkauksia piirretään yleensä kahdenkymmenen metrin välein. Tämän vuoksi kohdista, joista poikkileikkaus tarvittaisiin, ei sitä aina ole saatavissa. Paperisissa suunnitelmissa käytetään myös paljon koordinaattilistoja. Esimerkiksi valaisimien jalustojen yläpinnan keskipaikkojen kolmiulotteiset koordinaatit on tulostettu paperille. Mittaushenkilöstö joutuu kirjoittamaan nämä koordinaatit uusiksi sähköiseen muotoon, jotta niitä voidaan hyödyntää.

Tässä menetelmässä näppäilyvirheen todennäköisyys on suuri. Suunnittelijoiden tulisi lähettää edes koordinaattilistat sähköisessä muodossa, jotta ne voitaisiin suoraan kopioida mitattavaan muotoon eikä näppäilyvirheeseen olisi mahdollisuutta.

Vaikka suunnittelija olisi suunnitellut suunnitelmat kolmiulotteisina, niitä harvoin toimitetaan eteenpäin kolmiulotteisina. Syynä tähän on se, että työmaalla ei osata hyödyntää nykytekniikkaa täysin, vaan turvaudutaan mieluummin perinteisiin kaksiulotteisiin paperikuviin (7).

Mittaushenkilöstö joutuu luomaan osittain kolmiulotteisista tai kaksiulotteisista suunnitelmista täysin kolmiulotteisia, jotta työmaalle saadaan tuotua tarvittava tieto. Tämä työ maksaa, ja, mikä pahinta, inhimillisten tulkintavirheiden todennäköisyys kasvaa. Valitettavasti mittaus on taloudellisesti niin pieni osa rakentamista, ettei tähän ole puututtu aiemmin.

Kun kaksiulotteisista tienrakennussuunnitelmista tehdään kolmiulotteisia, täytyy ensin poimia tien vaakageometrian alku-, loppu- ja tangenttipisteet. Joskus näiden pisteiden koordinaatit ovat listattuina taulukkoon, mikä helpottaa kolmiulotteisen geometrian luomista. Toinen tapa on poimia pisteiden koordinaatit asemapiirustuksesta. Joskus tangenttipisteiden määrittäminen asemapiirustuksesta voi olla hankalaa, koska yleensä asemapiirustukseen ei piirretä suorien ja kaarien alkamisaikoja. Jos asemapiirustuksesta saa poimittua suorien alkamisaikat, saa tangenttipisteet laskettua vierekkäisten suorien leikkauspisteeseen. Kaksi suoraa on yhdistettävä tangeeraavalla kaarella. Muutoin mittalinjan ulkokaarteeseen jää katve ja sisäkaarteeseen tulee päällekkäisyyksiä, koska sivumittaa lasketaan kohtisuorasti mittalinjaan. Kuvassa 3 on esitetty, kuinka ilman tangeeraavaa kaarta yhdistettyjen suorien leikkauskohdan ulkokaarteeseen muodostuu katve ja sisäkaarteeseen päällekkäisyyksiä.

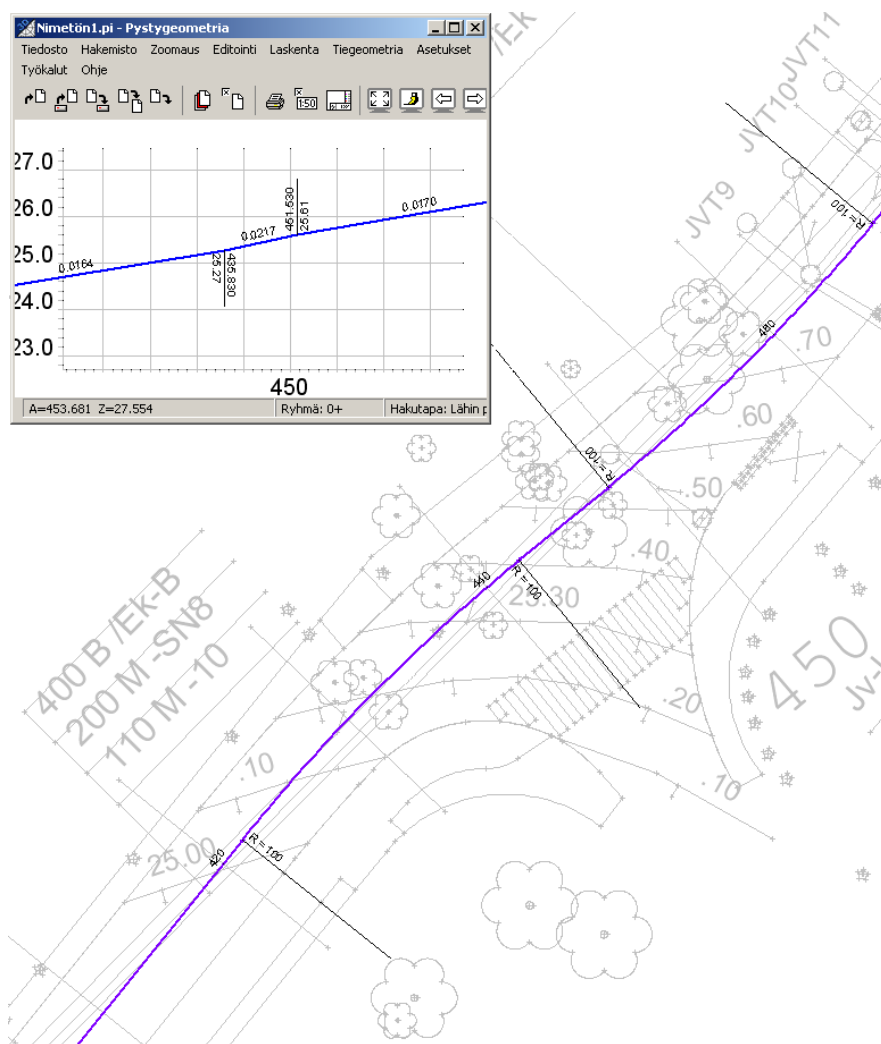


Kuva 3. Ylhäällä suorat yhdistetty ilman kaarta ja alhaalla suorien väliin on lisätty tangeeraava kaari

Erityisen hankalaksi tilanteen tekee, jos tien geometrian suunnittelussa on käytetty klotoidia eli siirtymäkaarta. Klotoidi on käyrä, jonka pyöristyssäde muuttuu eli klotoidin alkupäässä pyöristyssäde on eri kuin loppupäässä. Kaikki mittausohjelmistot eivät pysty tulkitsemaan klotoidia, jolloin klotoidi on purettava suoriksi ja kaariksi. Jos suorat ja kaaret ovat tarpeeksi lyhyitä, säilyy alkuperäisen geometrian sijainti tarpeeksi tarkkana. Kun tangenttipisteet on saatu poimittua ja suorien väliset kaarresäteet määritettyä, on tien vaakageometria luotu.

Seuraavaksi poimitaan pituusleikkauksesta korkeustieto tien geometrialle, jolloin saadaan luotua tien pystygeometria. Pystygeometriaan pätee sama sääntö kuin vaakageometriaan, eli suorat on yhdistettävä tangeeraavalla kaarella. Pystygeometriassa ei käytetä klotoidia. Pituusleikkauksessa on yleensä annettu tien alku-, loppu- ja tangenttipisteiden paaluluvut, niiden korkeus sekä kaarresäteet. Kun vaaka- ja pystygeometria yhdistetään, saadaan tien mittalinja. Mittalinja on kolmiulotteinen viiva, joka usein kuvastaa tien keskilinjaa.

Kolmiulotteisen mittalinjan tekeminen kaksiulotteisista suunnitelmista vaatii paljon manuaalista lukujen syöttämistä. Tämä altistaa näppäilyvirheelle, jolloin mittalinja tulee tehtyä väärään paikkaan. Mittausaineistoa tehdessä, tien muiden rakenteiden sijainti kirjoitetaan sivumittana ja korkeuserona mittalinjaan. Mittalinjassa oleva virhe siis seuraa tien kaikkiin rakenteisiin. Mittalinjaa on syytä verrata asemapiirustukseen ja pituusleikkaukseen, jotta mahdolliset virheet huomattaisi. Kuvassa 4 näkyy luodun tien mittalinjan vaaka- ja pystygeometria.



Kuva 4. Alhaalla tien mittalinjan vaakageometria ja vasemmassa yläkulmassa pystygeometria

Pelkän mittalinjan merkitseminen työmaalla ei riitä, vaan työmaalla halutaan tietää rakenteiden sijainnit, kuten asfaltin, kantavan kerroksen ja jakavan kerroksen yläreunat sekä leikkaustaso luiskineen. Nämä linjat noudattavat jossain määrin tien mittalinjaa.

Tarkemman tiedon saa tarkastelemalla paalulukukohtaisia poikkileikkauksia. Poikkileikkauksia kertyy tien matkalla paljon, ja siinä piilee riski virheille. Jos jonkin rakenteen etäisyys mittalinjaan vaihtelee paalulukukohtaisesti, sitä ei välttämättä huomata. Toinen mahdollinen virhelähde on harvaan piirrettyjen poikkileikkauksien väliin jäävä alue. Tällöin jää arvailun varaan, kuinka tien rakenne sijoittuu kahden eri paalukohtaisen poikkileikkauksen väliin, jotka on piirretty kahdenkymmenen metrin päähän toisistaan.

Kolmiulotteista mallia tarvitaan rakennussuunnitelman merkitsemiseen maastoon, tilavuuksien hallintaan ja tarkemmittausten vertaamiseen suunnitelmaan. Luotettavuus voi kärsiä, kun sama organisaatio luo työmaasta kolmiulotteisen mallin, tekee tarkemmittaukset ja vertaa tarkkeita luotuun malliin. Jos tässä järjestelyssä mallin luontivaiheessa tulee inhimillinen erehdys, tie rakennetaan tämän erehdyksen mukaan ja erehdys ei tule ilmi edes tarkemmittauksissa. Halutessaan mittausorganisaation on mahdollista manipuloida tuloksia.

6.2 Suunnittelukäytännöt uusiksi

Edellä mainittua tilannetta voisi korjata siten, että suunnittelija tekisi suoraan kolmiulotteiset suunnitelmat ja luovuttaisi ne kolmiulotteisina koordinaattipisteinä. Tällöin tarkemmittauksien tuloksia tulisi verrattua varmasti alkuperäiseen suunnitelmaan. Jo suunnitelmien tilaamisvaiheessa voisi olla mukana mittaus toimintaa tunteva henkilö, koska suunnitelmien tilaajalle ei yleensä ole ymmärrystä mittausorganisaation toiminnasta (8). Tämä olisi myös tilaajan etu, koska nykyään luotetaan sokeasti siihen, että mittaushenkilöstö toimii oikeellisesti, virheettömästi ja eettisten periaatteiden mukaan.

Suunnitelmakäytäntöjä olisi standardoitava, jotta suunnitelmien laatu vastaisi modernin työmaan edellyttämää vaatimusta. Teiden nauhamaisuuden vuoksi tienrakennussuunnitelmat voitaisiin luovuttaa digitaalisesti tien pituussuuntaisilla jatkuvilla kolmiulotteisilla taiteviivoilla. Taiteviivojen pituutta lyhentämällä saadaan tien sijainti tarpeeksi tarkaksi myös kaarteisissa kohdissa. Taiteviivojen nimeäminen ja koodaaminen tulisi myös standardoida sellaiseksi, että kaikista viivoista kävisi selvästi ilmi se, mitä tien rakennetta kukin viiva kuvaa. Minimivaatimus luovutettavalle suunnitelma-aineistoille olisi se, että samaa suunnitelma-aineistoa voisi käyttää perinteiseen satelliitti- ja takymetrimittaukseen sekä automatisoituihin työkoneisiin.

Suunnittelijoilta tuleva aineisto ei nykyään käy sellaisenaan mittausaineistoksi, vaan suunnitelmia joudutaan aina jatkojalostamaan, jotta suunnitelmat voidaan merkitä maastoon. Varsinkin kokonaishintaurakoissa, joissa työmaalle on toimitettu laadukkaat suunnitelmat ennen urakan alkua, voi riittää, että suunnitelmista tehdään mittausaineisto vain kerran ja suunnitelmat eivät tästä enää muutu. Tällöin mittausaineiston tekemiseen ei välttämättä kulu turhauttavan kauan aikaa. Pahin tilanne on silloin, kun suunnitelmat päivittyvät, lisääntyvät tai muuttuvat useasti eli suunnitelmista tulee uusia revisioita. Tämä on tavallista yksikköhintaurakoissa, joissa suunnitelmat tarkentuvat töiden edetessä. Mittausaineistokelvottomista suunnitelmista joudutaan joka revision julkaisin jälkeen tekemään uusi mittausaineisto. Tähän kuluu mittaushenkilöstöltä paljon aikaa, ja yleensä tämä työ on alkuperäiseen urakkaan kuulumatonta lisätyötä, joka veloitetaan suunnittelija- tai tilaajaorganisaatiolta. Tämän lisäksi voi syntyä tilanteita, joissa työkoneet joutuvat odottelemaan, kunnes uudesta suunnitelmarevisiosta saadaan tehtyä mittausaineisto.

On nimenomaan tilaajan etu, jos suunnitelmat ovat sellaisenaan mahdollisimman mittauskelpoisia. Käytännössä tämä tarkoittaisi sitä, että suunnittelija luovuttaisi suunnitelmat kolmiulotteisina taiteviivoina. Taiteviivojen tulisi olla jatkuvia ja suunnittelijan tulisi huolehtia, ettei mahdollisten epäjatkuvuuskohtien ja virheiden paikantaminen jäisi mittausorganisaation vastuulle. Tällainen suunnitelma olisi mittauskelpoinen vähällä jatkojalostamisella, eikä aineistoille tarvitsisi tehdä enää paljon, jotta se kävisi myös automatisoituihin työkoneisiin. Tähän riittäisi pintamallin tekeminen taiteviiva-aineistosta. Taiteviivojen pituus riippuisi tien geometriasta. Karkeasti sanottuna taiteviivat olisivat puolesta metristä kymmeneen metriin. Mitä lyhyemmäksi taiteviivat piirretään, sitä suuremmaksi tiedostojen koko kasvaa. Suuret tiedostojen koot aiheuttavat ongelmia tiedonsiirrossa sekä automatisoitujen työkoneiden ruudun päivitystaaajuudessa.

Taiteviivojen kolmiulotteisten koordinaattien lisäksi niissä tulisi olla ominaisuustieto. Vähimmäisvaatimuksena ominaisuustiedolle olisi se, mitä tien taitetta kukin viiva kuvastaa sekä paaluluku. Suunnittelijan tulisi tehdä taiteviiva-aineisto tien kaikista kerroksista. Tällöin suunnitelma olisi yksiselitteinen. Suunnittelijan roolin kolmiulotteisen aineiston teossa tulisi kattaa myös liittymät sekä kiertoliittymät ja liikenneympyrät. Yleensä

edellä mainitut ovat geometrialtaan haastavampia kohteita, ja kaksiulotteisten suunnitelmien perusteella saattaa eri osapuolilla olla tilanteesta omat tulkintansa, jos suunnitelmat eivät ole tarpeeksi tarkkoja tai niissä esiintyy ristiriitoja. Ainoa tien rakenne, jota suunnittelijan ei välttämättä tarvitsisi mallintaa, olisi siirtymäkiilat. Siirtymäkiilojen suunnittelu vaatii kallion pinnan tarkkaa kartoittamista. Maan alla piilossa oleva kallion pinta paljastuu yleensä vasta urakointivaiheessa. Kun urakointi on jo käynnissä ja suunnittelijallakin alkanut jo uudet projektit, on siirtymäkiilojen mallinnuksen tekeminen liian hidasta. Tässä tapauksessa riittäisi, jos suunnittelija tekisi tilanteesta periaatekuvan tai selittäisi toimenpiteet sanallisesti tai kirjallisesti.

Prosessin tienrakennussuunnitelmien standardoimiseksi on lähdettävä suunnitelmien tilaajilta. ELY-keskuksen ohjeistus ja suositus suunnitelma-aineiston standardoimiseksi on koettu turhaksi. Suunnitelmien tilaajaorganisaatiot olisi saatava huomaamaan, että rahallinen panostus laadukkaisiin suunnitelmiin maksaa itsensä takaisin edullisimmilla urakkatarjouksilla. NykYTEKniikkaa hyödyntämällä hyvin suunniteltu hanke on halvempi toteuttaa. Merkittävä osa säästöstä, jonka urakoitsijat, joilla on tarjota työmaa-automaatiota ja siten edullisempaa urakointia, ohjautuisi nimenomaan tilaajaorganisaatiolle. Säästö olisi ikään kuin epäsuoraa seurausta laadukkaiden suunnitelmien tilaamisesta.

6.3 Kolmiulotteisiin suunnitelmiin siirtymisen haasteet

Vielä nykyään kilpailutus johtaa siihen, että tilaaja joutuu tilaamaan halvimman suunnitelman, joka monesti tarkoittaa huonointa suunnitelmaa. Hyvän ja huonon suunnitelman eron huomaa usein vasta rakentamisvaiheessa, kun suunnitelmasta alkaa ilmetä ristiriitoja ja puutteita. Tässä vaiheessa suunnitelmien korjaus on hidasta ja hankalaa. Suunnittelijoilla on tapana ajatella suunnitelmaa vain paperille tulostettuna, vaikka on tavallista, että suunnittelija lähettää myös CAD-kuvan paperisten kuvien lisäksi. Kun CAD-kuvasta aletaan tehdä kolmiulotteista mallia, huomataan siinä ilmenevät virheet ja puutteet. Yleisempiä virheitä ovat ristiriidat, tasojen väärinkäyttö, väärät korkeudet, viivojen näennäinen yhtenäisyys ja liika informaatio. Suunnitelmasta ei tee hyvää informaation määrä vaan sen laatu. (8).

Toinen syy, joka hidastaa nyky menetelmästä eroon pääsyä, on formaattien suuri määrä. Pelkästään Suomessa on tiegeometrialle olemassa jopa seitsemän käytössä olevaa formaattia. Olisi päästy helpommalla, jos asiasta olisi pystytty sopimaan silloin, kun tietotekniikka alkoi yleistyä tien rakentamisessa. Koska asiasta ei ole sovittu, on ongelma kasautunut mittauspäähän. Samalla olisi pitänyt sopia CAD-tasojen yhtenäisestä käytöstä. Nykyään jokaisella suunnitteliijaorganisaatiolla tai jopa jokaisella suunnittelijalla on käytössä oma tasonkäyttöjärjestelmä. Tämänkin sotkun selvittäminen jää usein mittaushenkilöstön selvitettäväksi. (8)

Jos ja kun tulevaisuudessa halutaan siirtyä koneohjaukseen sujuvasti, on edellä mainitut asiat korjattava, koska automatisoidut työkoneet tarvitsevat täydellistä digitaalista aineistoa. Koneet eivät tulkitse esimerkiksi yhtenäiseltä näyttävää viivaa yhtenäiseksi, toisin kun ihmiset, jotka katsovat suunnitelmaa paperilta. (8)

6.4 Suunnitelmat ajantasaisiksi

Kolmas haaste nyky menetelmässä, edellä mainittujen lisäksi, on suunnitelmien ajantasaisuuden puute. Rakentamisvaiheessa tulee jatkuvasti eteen asioita ja ongelmia, joihin suunnittelija ei ole osannut etukäteen varautua. Tällaiset asiat voivat vaatia uusia suunnitelmia.

Pahimmassa tapauksessa saattaa kestää jopa viikkoja siitä, kun uutta suunnitelmaa vaativa ongelma tulee eteen, siihen kun uudet suunnitelmat on saatu toimitettua työmaan käyttöön. Tapahtumaketju voi pahimmillaan olla sellainen, että mittaaaja huomaa työmaalla, ettei alkuperäinen suunnitelma vastaa todellisuutta. Mittaaja ilmoittaa asiasta työmaan johdolle ja työmaan johto ilmoittaa asiasta suunnittelijalle. Suunnittelija pyytää maastosta uuden kartoituksen, jonka jälkeen vasta päästään tekemään uutta suunnitelmaa. Kun uusi suunnitelma on valmis, se lähetetään kaksiulotteisena työmaalle. Työmaa lähettää suunnitelman mittaushenkilöstölle, joka tekee suunnitelmaan tarvittavat korjaukset sekä luo siitä kolmiulotteisen mallin. Tämän jälkeen uutta suunnitelmaa päästään merkitsemään maastoon, minkä jälkeen kohde voidaan rakentaa uusien suunnitelmien mukaan.

Joskus työmaalla aikataulut tuottavat niin paljon paineita, ettei uusia suunnitelmia mal-
teta odottaa, vaan työ tehdään työmaan omien suunnitelmien mukaan. Tämä mene-
telmä on riskialtista ja rakentaja on itse täysin vastuussa työnsä järkevyydestä ja laa-
dusta. Vaikka urakointiorganisaatio ei usein sitä suostu myöntämään, on suunnittelijoil-
la sellaista näkemystä, jota työmaalla ei ole.

Nyky menetelmällä pitäisi tehdä uusiksi monta eri piirustusta, jos suunnitelmaan tulee
yksikin muutos. Usein kuitenkin käy niin, että muutos tehdään vain siihen piirustuk-
seen, josta se parhaiten huomataan. Esimerkiksi jos tien kuivatukseen tai kallistuksiin
tulee muutos kesken rakentamisen, voi olla, että suunnittelija päivittää vain kuivatus-
kartan korkeuskäyrät. Poikki- ja pituusleikkaukset jäävät tällöin päivittämättä. Jos työ-
maalle tulee uusi työntekijä muutoksen jälkeen, on hyvin mahdollista, että hän ensin
huomaa virheelliset piirustukset, joihin päivitystä ei ole tehty.

Tavoitetilanteessa suunnitelmat olisivat ajantasaisena ja kolmiulotteisena sähköisessä
muodossa palvelimella. Palvelimeen tulisi kaikkien rakentamisen osapuolien päästä aina
halutessaan käsiksi. Kun palvelimella olevaan suunnitelmaan tulee muutos, voisivat
kaikki hankkeen osapuolet saada uudet suunnitelmat samalla sekunnilla itselleen. Tämä
edellyttää hyvää palvelinjärjestelmää. Nykyään palvelinta käyttävien hankkeiden tie-
donhallinta on välillä koettu liian kaoottiseksi. Palvelimen käyttäjät eivät ole pysyneet
mukana siinä, milloin suunnitelmiin on tullut muutoksia ja mistä uudet suunnitelmat
löytyvät. Parhaassa tapauksessa palvelimella olisi vain yksi tuotemallimainen suunni-
telma, jota päivitetään tarpeen tullen. Päivityksestä ilmoitettaisiin kaikille hankkeen
osapuolille esimerkiksi sähköpostilla ja tekstiviestillä.

6.5 Tavoitteena digitaalinen tuotemalli työmaasta

Tavoitetapauksessa tienrakennussuunnitelma olisi aina ajantasainen kolmiulotteinen
digitaalinen malli työmaasta, josta voidaan halutessa tulostaa kaksiulotteisia asemapii-
rustuksia, pituus- ja poikkileikkauksia paperille. Tällaisesta mallista voidaan käyttää
nimitystä tuotemalli.

Tuotemallista olisi poimittavissa kaikki tarpeellinen tieto, jota työmaalla tarvitaan. Tuo-
temallia päivitetäisiin aina kun siihen ilmenee tarvetta. Tuotemallista olisi poimittavissa

kaikkien rakenteiden paikkatieto sekä ominaisuustiedot. Paikkatieto sisältää rakenteesta kolmiulotteiset koordinaatit. Ominaisuustiedoista kävisivät ilmi kunkin rakenteen tekniset ominaisuudet, kuten betonin laatu, kiviaineen raekoko, raudoitus jne.

Tuotemallin lisäksi työmaasta ei tarvittaisi muita suunnitelmia, vaan kaikki tarvittava tieto olisi poimittavissa yhdestä ja samasta paikasta. Kaikilla rakentamisen osapuolilla olisi oltava katseluoikeus malliin, jotta siitä olisi eniten hyötyä. Tuotemalli voisi sisältää myös metainformaatiota rakenteista eli tietoa tiedosta. Suunnittelija esimerkiksi kirjoittaisi valaisimen attribuutteihin, miksi juuri tällaiseen valaisimeen on päädytty.

Perinteisellä menetelmällä suunnittelija on voinut valita pituus- ja varsinkin poikkileikkauskohdat niin, että hän on voinut olla ottamatta kantaa ongelmallisiin kohtiin. Tällöin urakoitsijat ja mittaaajat joutuvat tekemään suunnitelmista omat tulkintansa ja vastuu epäselvyyksistä on jäänyt heille. Ongelmallisina kohtina on yleensä pidetty risteyksiä ja liittymiä, joissa kaksi tai useampi tiegeometria törmää. Tuotemallista olisi yksiselitteisesti poimittavissa kaikki tieto, jota urakoitsijat, mittaaajat ja automatisoidut työkoneet tarvitsisivat.

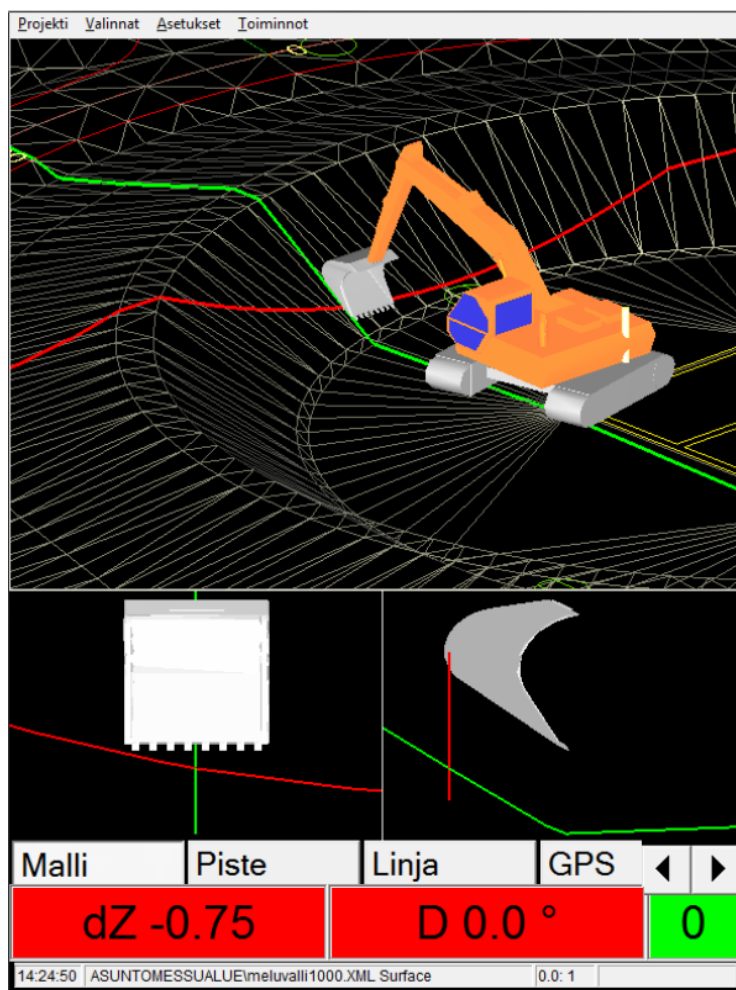
Tuotemallisuunnitelmissa pystytään tilavuudet hallitsemaan hyvin. Kun tiedetään jokaisen rakenteen jokaisen paikan sijainti, saadaan kaikkien rakenteiden tilavuudet määritettyä. Usean kaksiulotteisen suunnitelman pohjalta laskettujen tilavuuksien määrittäminen on vähintäänkin likimääräistä. Tätä likimääräisyyttä pyrkii jokainen rakentaja käyttämään hyväksi. Tilavuuksia pyritään laskemaan ja pyöristämään omaa etua tavoitellen.

Vaikka siirtyminen kaksiulotteisista suunnitelmista kolmiulotteisiin on vielä pahasti vaiheessa, on jo alettu puhumaan neljä- ja jopa viisiulotteisista tuotemallisuunnitelmista. Neljäntenä ulottuvuutena, kolmen avaruusvektorin lisäksi, on aika ja viidentenä kunnossapito. Rakentamisen eri vaiheissa työmaalla on erilaisia rakenteita. Aikavektorilla tarkoitetaan tuotemallia, josta on nähtävissä työmaa eri rakennusvaiheissaan. Sen avulla vältetään rakenteiden törmäyksiltä. Tällainen suunnitelmamalli voi tulla kysymykseen suurissa hankkeissa urbaaneilla alueilla, joilla on paljon kunnallistekniikkaa ja maanalaisia rakenteita. Samaa moniulotteista tuotemallia käytetään jatkossa hankkeen

kunnossapitoon. Mallista on nähtävissä, milloin ja miten kutakin rakennetta täytyy huoltaa. (9)

7 Automaatio tienrakennuksessa

Koneohjauksella eli työkoneautomaatiolla tarkoitetaan työkoneilla suoritettavien rakentamisen osavaiheiden mittaustoiminnan osittaista tai kokonaista automatisointia. Yleisimmät työkoneet, joihin koneohjausta on käytetty ovat kaivinkoneet, pyöräkuormaajat, puskutraktorit ja tiehöylät. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että koneen kuljettaja saa koneen ohjaamoon reaaliaikaista tietoa siitä, missä työkoneen terä tai kauha sijaitsee rakennussuunnitelmaan nähden. Kuljettaja ohjaa koneen työterää tai kauhaa saamansa informaation avulla. Kuvassa 5 on näkymä automatisoidun kaivinkoneen näytöltä.

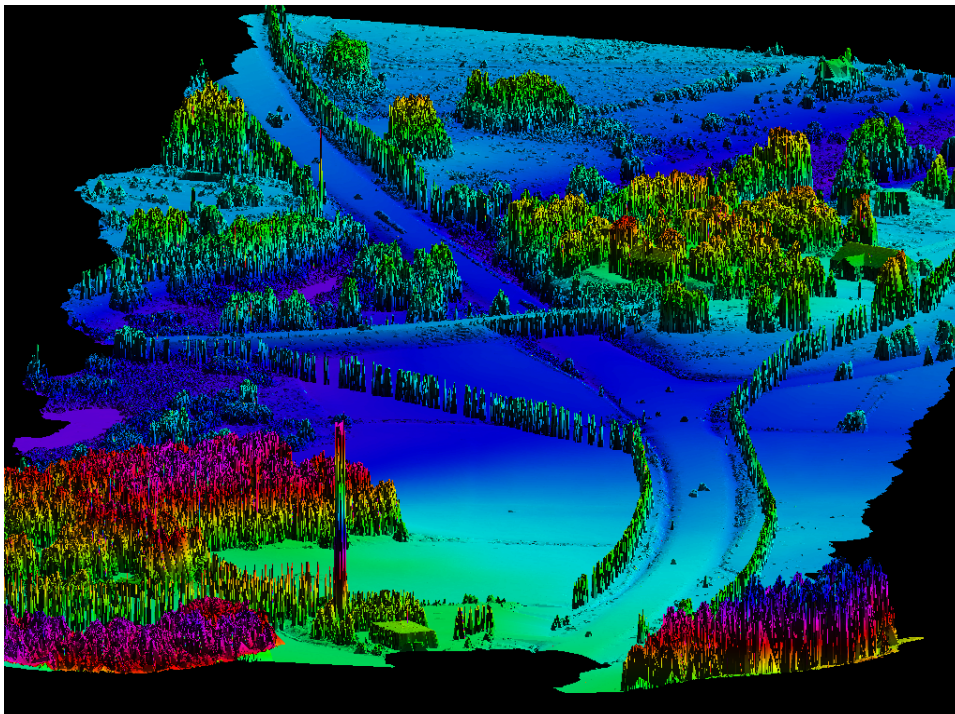


Kuva 5. Näkymä kaivinkoneen näytöltä

7.1 Automaatio lähtötietojen hankinnassa

Ennen kuin tietä voidaan alkaa suunnitella, tarvitaan suunnitelman lähtötiedoksi maastomalli kohteesta. Pienissä hankkeissa maastomallin luontiin käytetään joko gps- tai takymetrimittausta. Suurimmissa hankkeissa maastomallin tekoa on automatisoitu. Perinteinen tapa on ilmakuvauus. Ilmakuvauus on lentokoneesta tai helikopterista tapahtuva maaston valokuvaus. Kun ilmasta otettavissa kuvissa on tarpeeksi pituus- ja sivupeittoa, voidaan kuvia tarkastella stereona. Stereotyöasemalla voidaan kuvista luoda kolmiulotteinen maastomalli. Nykyään yleisempi tapa on kuitenkin laserkeilaus. (10)

Laserkeilaus on maasta tai ilmasta tapahtuvaa tutkausta lasersäteillä. Laserkeilain lähettää laserpulssin kohteeseen, josta se heijastuu takaisin keilaimeen. Laite mittaa laitetyypistä riippuen lähetetyn ja vastaanotetun säteen kulkuajan, vaihe-eron tai tulo-kulman. Tämän perusteella saadaan laskettua kohteen etäisyys keilaimesta. Kun tiedetään keilaimen sijainti ja lasersäteen lähetys-suunta, saadaan laskettua kolmiulotteiset koordinaatit kohteesta, josta säde on heijastunut takaisin. Kuvassa 6 on esitetty havainnollinen maastomalli helikopterista tapahtuneesta laserkeilauksesta.



Kuva 6. Värein havainnollistettu maastomalli helikopterista tapahtuneesta laserkeilauksesta (10)

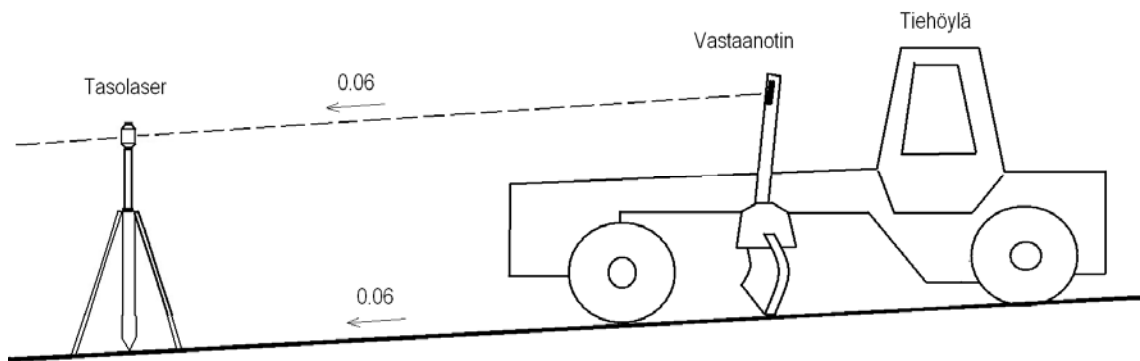
7.2 Koneohjaus

Tien rakentamisen työmaa-automaatiossa eli koneohjauksessa käytetään useita eri paikannustekniikoita. Eri menetelmissä on omat hyvät ja huonot puolensa. Periaatteena voidaan pitää sitä, että hyvien menetelmien huonona puoleena on niiden kalleus. Järjestelmät, jossa koneen kuljettaja näkee näytöltä terän tai kauhan suunnitelmien kanssa, maksavat joitain kymmeniä tuhansia euroja. Lasermittaukseen perustuvat järjestelmät, joissa sijaintitietoa saadaan valo- ja äänimerkein, saadaan hankittua noin tuhannella eurolla.

7.2.1 Laser

Yksi koneohjauksessa käytössä olevista menetelmistä perustuu etäisyyden mittaamiseen esimerkiksi laserin avulla. Esimerkiksi jos tielle on asennettu reunakivet ennen kantavan kerroksen tekoa, voi tiehöylä höylätä kantavan kerroksen pinnan pitämällä terän etäisyyden reunakiven yläpinnasta vakiona.

Toinen laseriin perustuva koneohjausmenetelmä on tasolaser. Tasolaser on laite, joka lähettää laser-sädettä tietyssä tasossa. Tasolaser-järjestelmään kuuluu itse tasolaserin lisäksi myös vastaanotin. Vastaanotin ilmoittaa valo- ja äänimerkein, onko vastaanotin tasolaserin kanssa samalla tasolla vai tason ylä- vai alapuolella. Tasolaseriin voidaan myös asettaa kallistuksia. Lasermittaukseen perustuvia koneohjausjärjestelmiä käytetään eniten tiehöylässä ja kaivinkoneessa. Tasolaserin käyttö soveltuu parhaiten kohtiin, joissa tien pituus- ja sivukaltevuudet eivät muutu. Kuvassa 7 tasolaseriin on asetettu sama kaltevuus kuin tien suunniteltu pituuskaltevuus, jolloin tien rakennekerroksia voidaan höylätä pitämällä höylään asennettu tasolaserin vastaanotin samassa tasossa tasolaserin kanssa.



Kuva 7. Tien rakennekerroksia höylätään pitämällä vastaanotin samassa tasossa tasolaserin kanssa

7.2.2 Robottitakymetripaikannus

Yksi edistyksellisistä koneohjausjärjestelmistä perustuu robottitakymetrimittaukseen. Työkoneen kuljettaja pystyttää ja orientoi takymetrin ennen työvaiheen aloittamista. Työkoneeseen on kiinnitetty prisma, johon robottitakymetri havaitsee. Työkoneen prisman ja terän tai kauhan välinen etäisyys ja suunta on tiedettävä tarkkaan, jotta menetelmä olisi luotettava.

Työkoneen ja robottitakymetrin välillä ja radio- tai bluetooth-yhteys. Takymetri havaitsee työkoneen prismaan useista kertoja sekunnissa ja lähettää prisman paikkatietoa työkoneen ohjaamoon reaaliajassa. Työkoneen kuljettaja näkee näytöltä terän tai kauhan sijainnin suunnitelman suhteen reaaliajassa. Järjestelmä voi olla täysin automatisoitu, jolloin terää tai kauhaa ohjataan automaattisesti suunnitelman mukaan. Tavallisempi keino on kuitenkin se, että työkoneen kuljettaja säätää itse terän tai kauhan paikkaa haluttuun kohtaan. Robottitakymetrimittaukseen perustuvaa koneohjausjärjestelmää käytetään lähinnä tiehöylissä. Kuvassa 8 on esitetty, miltä näyttää järjestelmä, jossa robottitakymetrin avulla ohjataan tiehöylää.



Kuva 8. Robottitakymetri paikantaa tiehöylän prismaa (10)

7.2.3 Satelliittipaikannus

Toinen pitkälle kehittynyt koneohjauksessa käytetty menetelmä perustuu satelliittipaikannukseen. Tässäkin menetelmässä koneen kuljettaja saa koneen näyttöön reaaliaikaista tietoa kauhan sijainnista suunnitelmaan nähden. Työkoneissa on satelliittivastaanotin, jonka antennin sijaintia paikannetaan jatkuvasti. Satelliittipaikannusta käytetään eniten kaivinkoneissa, mutta myös pyöräkuormaajissa ja puskutraktoreissa se on robottitakymetrimittausta suositumpi.

Satelliittipaikannus perustuu maapalloa kiertäviin satelliitteihin, jotka lähettävät radioyhteydellä informaatiota, jossa on satelliitin yksilöivä tunnus sekä aika. Satelliittijärjestelmiä ylläpitäviltä tahoilta saadaan kunkin satelliitin kiertoradan tiedot. Kun informaatiota saadaan vähintään neljältä satelliitilta samanaikaisesti, voidaan laskea satelliittivastaanottimen antennin sijainti.

Ilmakehä vääristää satelliiteista tulevaa signaalia. Tarpeeksi tarkan sijainnin laskemiseen tarvitaan maassa oleva tukiasema. Tukiasema on satelliittivastaanotin, jonka antennin tarkka sijainti tiedetään. Kun tunnetaan tukiaseman antennin oikean paikan sekä satelliiteista lasketun paikan ero, voidaan ilmakehän aiheuttama vääristymä laskea ja korjata. Tätä korjausdataa lähetetään langattomasti työkoneisiin. Tukiaseman on oltava tarpeeksi lähellä työkoneita, jotta tarvittava tarkkuus saavutetaan.

Ilmakehän vääristymää voidaan korjata myös Virtual reference stationilla eli VRS:llä. VRS on virtuaalinen tukiasemaverkko. Suomessa on yli 90 VRS-tukiasemaa ympäri maata, jotka mittaavat ilmakehän aiheuttamaa vääristymää. Tätä tietoa lähetetään vastaanottimiin reaaliaikaisesti, jolloin ilmakehän aiheuttama vääristymä voidaan mallintaa pois. Koneohjauksessa VRS:ää ei juurikaan käytetä. (11)

Satelliittipaikannuksessa, kuten myös takymetripaikannuksessa, on työkoneen antennin ja kauhan välinen etäisyys ja suunta tiedettävä, jotta kauhan sijainti saadaan laskettua. Monissa työkoneissa antennin tai prisman ja kauhan tai terän välissä on monta liikkuvaa osaa ja niveltä. Näiden osien väliset etäisyydet on mitattava tarkasti. Kun tiedetään koneesta tarpeelliset etäisyydet, saadaan kiihtyvyyssantureiden avulla laskettua esimerkiksi kauhan ja antennin välinen taso- ja korkeusero. Kiihtyvyyssanturit kiinnitetään koneen runkoon sekä puomin kaikkein nivelten väliin. Jotta kauhalle saadaan laskettua vielä koordinaatit, on kauhan ja antennin välinen suunta tiedettävä.

Esimerkiksi kaivinkoneessa yksi vaihtoehto kauhan ja antennin välisen suunnan selvittämiseksi on kahden antennin järjestelmä. Koneen perälle pystytetään kaksi antennia, joiden välinen etäisyys mitataan. Tämän lisäksi mitataan antennien sijainti kaivinkoneen puomistoon ja pyörähtämiskeskipseeseen nähden. Kauha sijaitsee samalla suoralla puomin keskilinjan kanssa. Näin saadaan kahden antennin järjestelmällä selvitettyä antennien ja kauhan välinen suunta.

Yhden antennin järjestelmässä on mitattava antennin etäisyys puomin keskilinjaan sekä pyörähtämiskeskipseeseen. Kun kaivinkonetta pyöräytetään noin neljänneskiertos ja pyöräytyksen aikana havaitaan antennin sijainti tarpeeksi monta kertaa, saadaan kaivinkoneen pyörähtämiskeskipseen sijainti laskettua. Kun tiedetään antennin ja pyö-

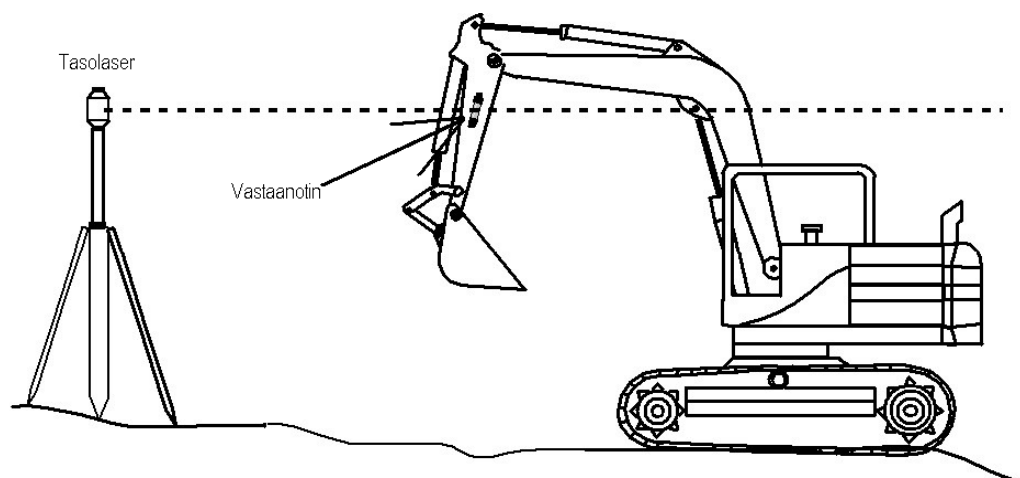
rähtämiskeskipisteen sijainti sekä edellä mainitut etäisyydet, saadaan antennin ja kauhan välinen suunta selvitettyä.

7.2.4 Syvyysmittaus

Yksi kahta edellistä koneohjausjärjestelmää edullisempi järjestelmä on syvyysmittaus eli 2D-järjestelmä. Tätä menetelmää käytetään lähinnä kaivinkoneissa. Tässäkin menetelmässä kauhan korkeutta sekä etäisyyttä koneen rungosta lasketaan kiihtyvyyssantureiden avulla, mutta paikannus ei perustu robottitakymetri- tai satelliittipaikannukseen.

Yhtenä tapana syvyysmittauksessa on se, että koneen kauhaa käytetään tunnetulla korkeuspisteellä ennen kaivamiseen ryhtymistä. Kauhan korkeus nollataan tähän pisteeseen. Kauhan korkeusero tunnettuun pisteeseen saadaan määritettyä kiihtyvyyssantureiden avulla, kunnes koneen pyörien tai telojen korkeusasema muuttuu. Jos pyörät tai telat liikkuvat korkeussuunnassa, joudutaan kauhan korkeus taas nollaamaan tunnetulle pisteelle.

Toinen tapa määrittää kauhan korkeus on tasolaserin avulla. Tasolaserin vastaanotin kiinnitetään kaivuvarteen. Periaate tässä menetelmässä on sama kuin edellä mainituksa. Tunnettuna korkeutena toimii tasolaser ja vastaanottimen korkeus nollataan tähän tasoon. Vastaanottimen ja kauhan työstöterän välinen etäisyys on tunnettava, jotta menetelmä olisi luotettava. Kuvassa 9 kaivinkoneen kaivuvarteen kiinnitetty tasolaserin vastaanotin nollataan tasolaserin tasolle.



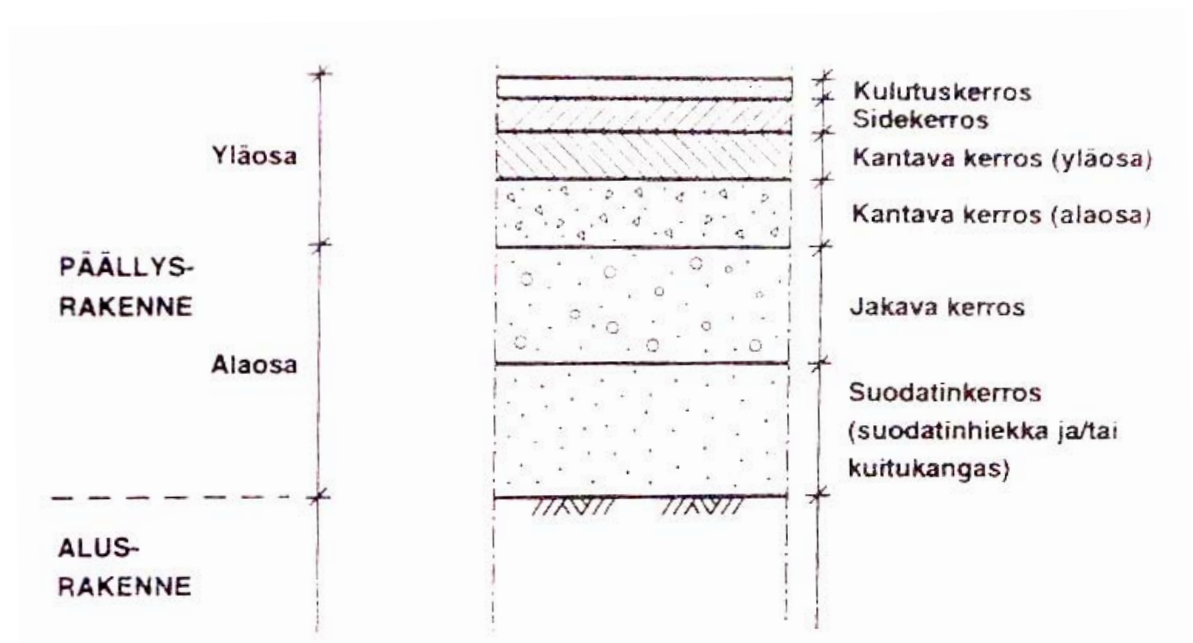
Kuva 9. Kaivuvarren vastaanotin nollataan tunnetulle korkeudelle.

7.3 Automaatio rakentamisen eri vaiheissa

Automaatiota voidaan hyödyntää useassa tien rakentamisen osavaiheessa. Työkoneen kuljettajan tiedot ja taidot vaikuttavat suuresti siihen, kuinka paljon automaatiota voidaan hyödyntää ja kuinka paljon automaatiosta on lopulta hyötyä.

7.3.1 Massanvaihto

Massanvaihdoksi kutsutaan työvaihetta, jossa tulevan tien alta kaivetaan päällysrakenteen alaosa sopimaton maa pois ja tilalle tuodaan päällysrakenteen alaosa kelpavaa maata. Kaivaminen tehdään lähes poikkeuksetta kaivinkoneilla. Tässä vaiheessa voi tulla helposti paljon materiaalihukkaa, koska kaivanto saatetaan kaivaa liian syväksi, jolloin pois ajettavaa maata tulee enemmän kuin on alun perin laskettu. Myös tilalle tulevaa maata joudutaan tuomaan enemmän, jos massanvaihto on tehty liian syvältä. Kuvassa 10 on esitetty tien rakennekerrokset.



Kuva 10. Tien rakennekerrokset (12)

Tilalle tuotavat rakennekerrokset ovat suodatin- ja jakava kerros. Suodatinkerroksen tarkoituksena on estää alusrakenteen ja pohjamaan sekoittuminen. Suodatinkerrokseksi kelpaa hiekka tai suodatinkangas. Jakavan kerroksen tehtävä on jakaa tien kuormia

alempiin kerroksiin eli toisin sanoen parantaa tien kantavuutta. Jakava kerros tehdään murskeesta, jonka maksimiraekoko on 45–90 mm. (12)

Jos tien geometria on suunniteltu olemassa olevaa maata korkeammalle, ei maata tarvitse kaivaa, vaan sen päälle levitetään pengermaata. Pengermaan levittämisen voidaan tehdä kaivinkoneella, pyöräkuormaajalla, puskutraktorilla tai tiehöylällä, pengermaan laadusta riippuen. Jos penkereeksi ajetaan louhetta, on levittäjäkoneen oltava tela-alustainen. Kaikissa edellä mainituissa koneissa voidaan hyödyntää automaatiota.

Taloudellisista syistä tien geometria pyritään suunnittelemaan ensisijaisesti siten, että leikkausta ja pengerrystä olisi mahdollisimman vähän. Toissijaisesti pyritään siihen, että leikkausta ja pengerrystä olisi suunnilleen yhtä paljon. Tällöin leikattua maata voidaan käyttää pengerrykseen. Tämä vähentää materiaalin liikuttelua.

7.3.2 Louhinta

Joskus massanvaihtoa tehdessä kalliopintaa paljastuu oletettua korkeammalta tai tien geometria on suunniteltu tiedossa olevaa kalliopintaa alemmaksi. Tällöin kallio joudutaan louhimaan. Louhinta tapahtuu siten, että kallioon porataan reikiä ja reiät panostetaan räjähteillä, jotka räjähtäessään aiheuttavat niin suuren paineen, että kallio halkeaa. Louhinnan tuloksena kiinteä kallio pirstaloituu louheeksi.

Kallion poraus vaatii panostussuunnitelman. Kun poraus ja panostus suunnitellaan hyvin, on louhinta turvallista ja tehokasta. Tällöin kallio saadaan irrotettua halutulta syvyydeltä, louhe saadaan liikkumaan haluttuun suuntaan ja louhe saadaan halutun kokoiseksi. Poravaunuissa voidaan hyödyntää automaatiota. Yleisin tapa on kahden satelliittiantennin systeemi, jonka lisäksi poran terää paikannetaan kiihtyvyyssantureilla sekä etäisyysmittarilla. Etäisyysmittarilla mitataan reiän syvyyttä.

7.3.3 Kantava kerros

Kun päällysrakenteen alaosat on saatu tehtyä, rakennetaan seuraavaksi tielle kantava kerros. Kantava kerros tehdään hienommasta murskeesta kuin jakava kerros. Viimeistään kantava kerros on muotoiltava siten, että se myötäilee tien lopullisen pinnan muo-

toja. Kantavaksi kerrokseksi soveltuvaa mursketta tuodaan tielle ja sitä levitetään, höylätään ja jyrätään, kunnes sallitut toleranssit alittuvat kantavuuden ja sijainnin osalta. Yleensä kantavaa kerrosta levitetään ja höylätään tiehöylällä sekä tiivistetään valssijärällä.

Tiehöylissä yleisimmin käytetyt automaatiomenetelmät perustuvat robottitakymetrimittaukseen sekä tasolaseriin. Takymetripaikannukseen perustuvassa menetelmässä höylän kuljettaja näkee näytöltä kantavan kerroksen pintamallin sekä höylän terän sijainnin suhteessa malliin. Kuljettaja pystyy höyläämään koko kerroksen ilman suunnitelman merkkäämistä maastoon.

Tasolaseria hyödyntävälle höylän kuljettajalle on mittaajan merkittävä ainakin tien geometrian muutoskohdat. Muutoskohtiin merkitään myös muutoskohdan tavoitemuoto. Höylän kuljettaja, joka on taitava käyttämään tasolaseria, vähentää suunnitelman maaston merkitsemisen tarvetta huomattavasti. Vaaka- ja varsinkin pystygeometrian kaarteissa tasolaserista ei ole kovin paljon hyötyä. Näissä kohdissa joudutaan tien muoto merkitsemään tiheämpään, jotta tavoiteltava muoto saavutetaan.

Jotta kantavasta kerroksesta saadaan tarpeeksi kantava, on sitä tiivistettävä. Maksimaalisen kantavuuden saavuttamiseksi on optimoitava jyräysmäärät. Liiallinen jyrääminen vähentää kantavuutta. Uusissa jyrissä on anturi, joka ilmoittaa, milloin rakenne on niin tiivis, ettei se enää jyräämällä tiivisty. Tämän lisäksi jyrissä on käytetty satelliittipaikannusta. Paikannuksen avulla saadaan tietoa siitä, kuinka monta kertaa tietyn kohdan yli on jyrätty. Varsinkin teillä, joissa on useita jyräitä, on hankala pitää lukua siitä, kuinka monta kertaa tietty kohta on jyrätty.

7.3.4 Kulutuskerros

Kantavan kerroksen päälle rakennetaan kulutuskerros tai tähän väliin voidaan tehdä myös sidekerros. Sorateillä kulutuskerroksena käytetään mursketta, jonka maksimi raekoko on 12–18 mm. Soratien kulutuskerrosta työstetään kuten kantavaa kerrosta.

Vilkkaimmin liikennöidyillä teillä ja kaduilla kulutuskerros tehdään asfaltista. Asfaltti on kiviaineksen ja bitumisen sideaineen seos. Asfalttia levitetään asfaltinlevittimellä. Asfal-

tin levittämisessä on käytetty robottitakymetrimittaukseen perustuvaa automaatiota. Automaatiota hyödyntämällä asfaltti saadaan levitettyä haluttuun muotoon, leveyteen ja paksuuteen. Paikannusta on käytetty siten, että levittimen perän reunalle on asetettu prisma, johon havaitaan takymetrillä automaattisesti useita kertoja sekunnissa. Levittyvän asfaltin reunan korkeus ja leveys pysyvät vakiona prismaan verrattuna. Levittimen perään kiinnitetyillä kallistusantureilla saadaan asfaltin sivukaltevuudet suunnitellun muotoiseksi.

Asfaltti tuodaan työmaalle kuumana, jolloin sitä on helpompi levittää. Levitetty asfaltti jyrätään tiiviiksi. Tiivistetty asfaltti jäähtyessään jähmettyy niin lujaksi, että se kestää liikenteen aiheuttaman kulutuksen.

7.3.5 Muut rakenteet

Paitsi edellä mainittuja rakenteita, kaduille ja teille rakennetaan tien kuivana pitämiseksi ojia, rumpuja sekä hulevesiviemäreitä ja -kaivoja. Tämän lisäksi voidaan tehdä vesijohtoja ja jätevesiviemäreitä kaivoineen. On myös tavallista, että tielle asennetaan sähkö- ja telekaapelointeja, valaisimia, opasteita sekä liikennevaloja ja -merkkejä. Nämä rakenteet aiheuttavat lisää kaivamista ja asennustyötä. Kaivamiseen ja asentamiseen käytetään yleensä kaivinkoneita. Nykyaikaisella tietyömaalla kaikki kuivatukseen, liikenteenohjaukseen sekä kunnallistekniikkaan liittyvät rakenteet mallinnetaan kolmiulotteisesti, jolloin näihinkin töihin voidaan hyödyntää automaatiota.

7.4 Automaation hyödyt

Säästöä koneohjaukseen siirryttäessä syntyy monin eri tavoin. Keskeisin säästö on materiaalihukan minimointi. Koska kukin rakentaja tietää koko ajan, miten lähellä tavoiteltavaa laatua ollaan, säästetään materiaalien turhilta siirtelyiltä. Kun tiedetään, mitä projektin vaihetta milloinkin työstetään ja missä kohdin tätä osavaihetta ollaan, vältetään myös odottelulta. Aina ei tarvitse mestarin tulla kertomaan, mikä työvaihe seuraavaksi on edessä.

Säästöä syntyy myös siitä, kun mittaja arvokkaineen käyttää työaikansa mahdollisimman tehokkaasti. Suunnitelman merkintä maastoon on usein hidasta, ja siihen

harvoin riittää yksi kerta, sillä merkintä on usein pyydetty liian aikaisin ja merkinnät ovat kadonneet ennen kuin niitä oikeasti tarvitaan. Koneohjaukseen siirryttäessä suunnitelman maastoon merkintävaihe voidaan korvata työkoneiden mittausjärjestelmillä. Mittaajalle jäisi edelleen laadunvarmistus ja ongelmallisissa tilanteissa konsulttina toimiminen.

Jotta työkoneautomaatiolla saavutetaan säästöä, on koneiden ja järjestelmien toimittava oikein. Työmaalle on järjestettävä varaosia ja varasuunnitelmia sen varalta, että systeemin tulee vikoja. Työmaalla on oltava mahdollisuus tukeutua myös perinteiseen mittaamiseen perustuvaan laitteistoon. Myös työkoneiden kuljettajille on järjestettävä tukea läpi työvuoron. Laitevalmistajilla ja maahantuojilla on usein etätuki, johon voi olla yhteydessä, jos koneohjausjärjestelmässä esiintyy vikoja. (13)

Nykyään on olemassa myös järjestelmiä, joissa tieto työkoneilta siirtyy myös toiseen suuntaan eli työkoneista tietokoneelle. Työkoneet pystyvät kartoittamaan tekemäänsä pintaa ja lähettämään tätä tietoa laadunvarmistajalle (13). Tällöin laadunvarmistus ja rakentaminen tapahtuvat samanaikaisesti. Työkoneen tekemä laadunvarmistus on luotettavaa silloin kun maastossa on tarkastuspisteitä, joiden sijainti havaitaan työkoneella tietyin väliajoin (14). Tällöin koneen ulkoisesta epätarkkuudesta aiheutuvat virheet saadaan karsittua pois.

7.5 Haasteet koneohjaukseen siirtymisessä

Työkoneautomaatioon siirtymisessä on ollut suuria haasteita. Ongelmana ovat olleet eri suunnitteluohjelmistojen ja eri valmistajien työkoneissa olevien formaattien eroavaisuudet. Tämän haasteen ratkaisemiseksi on perustettu työryhmiä, jotta alalle saataisiin luotua yksi ja yhtenäinen formaatti.

Haasteena on myös ollut hahmottaa uusi vastuunjako uuteen rakentamiskäytäntöön siirryttäessä. Selkein malli olisi se, että suunnitteluorganisaatio tekee rakennustyömaasta kolmiulotteisen, tuotemallimaisen suunnitelman alusta lähtien. Suunnittelijan vastuu kasvaisi tällöin entisestään. Sen lisäksi, että suunnittelija ottaa kantaa hankkeen teknisiin ominaisuuksiin, hänen vastuulleen tulisi myös kolmiulotteisen mallin luonti.

Suunnittelijan työmäärän lisääntyttyä myös suunnitelmien tilaaminen tulee kalliimmaksi. Haasteelliseksi on koettu se, miten kolmiulotteisesti ja perinteiseen tapaan suunnittelevat toimistot voisivat tehdä kilpailukykyisen tarjouksen samasta hankkeesta.

Nykyisin käytössä olevassa kolmiulotteisen mallin luonnissa suunnittelija on tehnyt perinteiset rakennussuunnitelmat asemapiirroksineen, poikki- ja pituusleikkauksineen. Tämän jälkeen joko sama tai eri suunnittelija, mittausorganisaatio, tilaaja tai pääura-koitsija luo kolmiulotteisen mallin rakennussuunnitelmien pohjalta. Tässä järjestelmässä suunnitelmien kilpailuttaminen on helpompaa ja selkeämpää. Jos kuitenkin kolmiulotteisesta mallista löydetään virheitä tai ristiriitaista tietoa, on hankalampaa määrittää, onko virhe peräisin rakennussuunnitelmasta vai mallin luomisesta. Hankala tilanne on varsinkin silloin, jos rakennussuunnitelman ja mallin tekijä ovat eri organisaatiosta ja jos virhe on johtunut siitä, että mallin tekijä on joutunut täydentämään kaksiulotteista suunnitelmaa omien tulkintojensa mukaan. (15)

Hankalaksi on osoittautunut ihmisten toiminta, asenteet ja ennakkoluulot. Työmaan johto koostuu monesti ihmisistä, joilla on puutteita tietoteknisissä taidoissa. Työmaata, jolla ei ole mittaaajan lyömiä keppejä eikä kaksiulotteisia paperipiirustuksia, on kuvattu työjohdon painajaiseksi (13). Jos suunnitelmat toimitetaan työmaalle digitaalisessa muodossa ja varsinkin jos piirustukset eivät ole tuttuja ja turvallisia tasokuvia, koetaan projektin johtaminen hankalaksi, jos tietotekniset taidot eivät riitä suunnitelmien tulkitsemiseen. On varmastikin niin, että kun kolmiulotteisista suunnitelmista tulee yleinen tapa, perinteiset paperisuunnitelmat tukevat edelleen digitaalista mallisuunnitelmaa.

Vaikka modernit kolmiulotteiset suunnitelmat ovat monella tapaa perinteisiä suunnitelmia parempia, ei niihinkään voi sokeasti luottaa. Työmailla työkoneen kuljettajat ovat antaneet palautetta, että jos mestarit tietävät koneessa olevan automaatiota, ei heitä enää työmaalla näy ongelmatilanteiden synnyttyä. (13)

Kolmiulotteisen mallin teossa ja toimivuudessa ongelmia aiheuttaa lähtöaineiston puutteellisuus. Varsinkaan maanalaisista rakenteista ei ole tarpeeksi tietoa, kunnes kaivinkoneen kauha niihin yllättäen osuu. Vaikka kolmiulotteinen malli olisi kuinka hyvä, tarkka ja laadukas, sen potentiaali ei pääse vahvuksiinsa, jos maastosta löytyy jatkuvasti rakenteita, joihin suunnitelmissa ei ole varauduttu. Lähtöaineiston puutteellisuus on

ongelmallisinta taajamissa, joissa on paljon kunnallistekniikkaa. On tärkeää, että projektista on hankittu tarvittavat lähtötiedot, jotta urakointi onnistuu sujuvammin. Kuntien ja ELY-keskuksen on huolehdittava, että heillä on tiedossa kaikki rakenteet, joita heidän tilaamiinsa hankkeisiin on rakennettu. (16)

Ongelmaksi on myös osoittautunut työkoneita omistavien yritysten haluttomuus asentaa koneohjauslaitteistoa koneisiinsa. Tämä johtuu osittain siitä, että koneohjatuille työkoneille ei ole muodostunut vielä kovinkaan suurta kysyntää. Työkoneita omistavat yritykset ovat monesti Suomessa melko pieniä yrityksiä, jolloin koetaan suureksi riskiksi asennuttaa kalliita laitteita koneisiin, varsinkin kun ei ole takuita laitteiden tuomasta liiketoiminnan kasvusta. Nykymenetelmässä työkoneista maksetaan aikaperusteisesti. Koneohjauksen myötä työ on nopeampaa, ja jotta koneohjausjärjestelmän hankinta on taloudellisesti kannattavaa, on työkoneurakoitsijalle maksettava siitä tarpeeksi.

8 Yhteenveto

Insinööriytyössä selvitettiin nykyisen tienrakennussuunnittelun heikkouksia ja ongelmia. Suurimmiksi ongelmiksi osoittautuivat vanhanaikaiset suunnittelukäytännöt sekä suunnitelmien kolmiulotteisuuden ja ajantasaisuuden puute. Näiden puutteiden takia mittaajan ja urakoitsijan vastuu suunnitelmien tulkitsemisessa ja täydentämisessä kasvaa. Puutteelliset suunnitelmat voivat aiheuttaa virheellisen mittausaineiston luomisen sekä virheellisesti rakentamisen.

Insinööriytyössä kävi selväksi, että nämä ongelmat olisivat ratkaistavissa nykytekniikan avulla. Selkein tapa olisi suunnitelmakäytännön modernisointi siten, että suunnittelija suunnittelisi rakennussuunnitelmat suoraan sähköisenä kolmiulotteisesti. Suunnitelma-aineisto toimitettaisiin palvelimelle. Palvelimella olevaa suunnitelmaa päivitetäisiin tarpeen tullen. Suunnitelma olisi kaikkien rakennushankkeen osapuolten käytettävissä.

Työssä kävi ilmi, että tienrakennushankkeiden tilaajaosapuolella on keskeinen rooli, jotta suunnitelmakäytäntöjä saataisiin muutettua. Pelkät ohjeistukset ja suositukset eivät riitä. Tilaajan pitäisi huomata, että suunnitelmiin panostettu kustannus korvautuisi takaisin halvemmilla urakkatarjouksilla. Työmaa-automaatiota tarjoavien urakointiyri-tysten olisi mahdollista tarjota urakka halvemmalla, koska automatisoiduilla työkoneilla

saavutetaan säästöä perinteiseen urakointitapaan verrattuna. Tämä säästö ohjautuisi tilaajalle.

Nykytekniikalla on mahdollista siirtää paikkatiedon omaavat digitaaliset suunnitelma-aineistot myös työkoneisiin, jolloin koneen kuljettajat näkevät reaaliajassa kuinka työn jälki vastaa suunnitelmaa. Tämä on työmaa-automaatiota eli koneohjausta. Automatisoidun työkoneen hallinta on tarkkaa, ja näin säästöä saavutetaan mm. materiaalihukan minimoimisella. Kolmiulotteiseen suunnitelmakäyttöön siirtyminen helpottaisi koneohjaukseen siirtymistä, koska automatisoidut työkoneet tarvitsevat kolmiulotteista suunnitelma-aineistoa toimiakseen.

Lähteet

- 1 Jaakkola, Mika & Heikkilä, Rauno. 2006. 3D-tietomalleja ja automaatiota hyödyntävän kokonaistoimintaprosessin kehittäminen tieväylien rakenteen parantamiseen - CASE VT4-Haurukylä- Haaransilta (3D-ROAD). Verkkodokumentti. Suomen asuntotietokeskus/Image Builder Oy
<http://www.asuntotieto.com/INFRA2010/Aineisto/3DROAD%20INFRA2010_%20pilottikuv.pdf> 14.9.2006. Luettu 7.5.2011.

- 2 Korhonen, Simo. 2010. Mittausoperaattori, Kesälahden Maansiirto Oy, Espoo. Novatron Oy:n, Scanlaser Oy:n ja Vianova Systems Finland Oy:n järjestämät koneohjauspäivät 3.11.2010.

- 3 Yritysesittely. 2011. Verkkodokumentti. Destia Oy.
<<http://www.destia.fi/apunavigaatio/yritys.html>> Luettu 14.8.2011.

- 4 Mittauspalveluiden esittely. 2011. Verkkodokumentti. Destia Oy.
<<http://www.destia.fi/mittaus/mittauspalvelut.html>>
Luettu 14.8.2011.

- 5 Tiensuunnittelun kulku. 2002. Tiehallinto. 2002. Verkkodokumentti.
<www.tiehallinto.fi/pls/wwwedit/docs/4545.PDF> 1.4.2002. Luettu 18.7.2011.

- 6 Vuorela, Kari & Urpola, Jussi & Kankainen, Jouko. 2001. Johdatus rakentamistalouteen. Espoo. Jasur Oy.

- 7 Mustonen, Markku. 2010. Suunnitteluinsinööri, Oulun kaupunki, Espoo. Novatron Oy:n, Scanlaser Oy:n ja Vianova Systems Finland Oy:n järjestämät koneohjauspäivät 3.11.2010.

- 8 Laakkonen, Maarit. 2009. Tiemittauksen asettamat vaatimukset suunnittelulle. Espoo.

- 9 Korhonen, Anne. 2010. Infrarakentaminen hyppää 5D-malliin. Rakennuslehti nro 34.

- 10 Heikkilä, Rauno & Jaakkola, Mika. 2004. Johdatus tienrakentamisen automaatioon.
<<http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf/3200915-vjohdatustienrakautom.pdf>>
Verkkodokumentti. Luettu 1.8.2011.
- 11 Tötterstrom, Seppo. 2010. Katsaus VRS-teknologian nykytilaan ja tulevaisuuteen.
Maankäyttö 3/2010. Sivut 9-13.
- 12 Hartikainen, Olli-Pekka. 2003. Tietekniikan perusteet. Helsinki. Otatieto.
- 13 Emtö, Sven-Erik. 2010. 3D-asiantuntija, Scanlaser Oy, Espoo. Novatron Oy:n,
Scanlaser Oy:n ja Vianova Systems Finland Oy:n järjestämät koneohjauspäivät
3.11.2010.
- 14 Jaakkola, Mika. 2010. Teknologiapäällikkö, Destia Oy, Espoo. Novatron Oy:n,
Scanlaser Oy:n ja Vianova Systems Finland Oy:n järjestämät koneohjauspäivät
3.11.2010.
- 15 Hörkko, Tuomas. 2010. Varatoimitusjohtaja, Vianova Finland Oy, Espoo.
Novatron Oy:n, Scanlaser Oy:n ja Vianova Systems Finland Oy:n järjestämät
koneohjauspäivät 3.11.2010.
- 16 Lyly, Tomi. 2010. Projektipäällikkö, FCG Finnish Consulting Group, Espoo.
Novatron Oy:n, Scanlaser Oy:n ja Vianova Systems Finland Oy:n järjestämät
koneohjauspäivät 3.11.2010.